

TIERRA Y CAL

GONÇALVES SILVA BRAGA, ALFREDO MANUEL. ROBADOR GONZALEZ, MARÍA DOLORES

INSTITUTO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN.
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE SEVILLA

RESUMEN

La construcción con tierra, al permitir despertar conocimientos ancestrales vernaculares con tecnologías actuales, puede posibilitar una construcción ecológicamente más sostenible, respetando los valores socio-culturales y en una dimensión verdaderamente humana.

La presente comunicación presenta los primeros resultados del estudio experimental realizado en edificaciones del sur de Portugal que han empleado como materiales de construcción la tierra y la cal. Se acompañan resultados de ensayos de la composición granulométrica, minerales arcillosos por difracción de rayos X, resistencia de muestras a compresión, a flexotracción y al corte, y simulación estructural.

1 INTRODUCCIÓN

Se pretende presentar los pasos iniciales de una investigación que se está desarrollando sobre las potencialidades de la tierra y de la cal como materiales constructivos alternativos en la actualidad.

¿Será que tendremos que continuar con los efectos de industrias altamente polucionantes como la siderurgia o la cementera? Hay alternativas.

Dentro de esto contexto se desarrolla el trabajo, averiguando si la tierra y la cal pueden ser, efectivamente, opciones válidas para la rehabilitación de nuestro patrimonio edificado (lo que es más pacífico), y especialmente para la construcción

de nuevas edificaciones. Construcciones optimizadas, basadas en una perspectiva arquitectónica inteligente y apoyadas en una comprobación estructural irrefutable.

Nuestra actitud no es de creencia que esos dos materiales naturales sean extraordinarios y los mejores que puedan existir, sino que pueden aportar.

Lo que sabemos es que los materiales hoy globalizantes, algunos son perniciosos y hay otras alternativas. Estamos averiguando si hay alguna posibilidad de, en determinadas condiciones, la tierra y la cal, solos o añadidos, pueden merecer nuestra confianza para constituir una alternativa asequible a esos otros tan comúnmente celebrados. Pero, con una permanente flexibilidad y apertura ideológica para una eventual sustitución o complemento en el futuro.

2 LA TERRA Y LA CAL, MATERIALES INMEMORIALES

Por razones esencialmente, la construcción en tierra cruda y los revestimientos de cal, han dejado de ser una práctica corriente y han pasado a ser despreciados por considerarse materiales “pobres” y “frágiles”, connotados con el subdesarrollo y, debido a la ausencia de caracterización científica y experimentación tecnológica; su conocimiento empírico ha ido desapareciendo.

Nos posicionamos claramente en contra este olvido y, siendo indispensable rehabilitar las construcciones existentes, sin embargo hay que rehabilitar y dignificar, previamente, las técnicas ancestrales, el “saber hacer” subyacente.

La Tierra. Es evidente para todos la trascendente belleza de algunas construcciones efectuadas con ese material, tan simple y natural. Pero, no será exclusivamente la mera estética formal a envolvernos y a fascinarnos. Es algo más, es la dimensión humana subyacente a este arquetipo constructivo.

Y la cal, cuya compatibilidad con la tierra es absoluta. No solamente en revocos, creando superficies arquitectónicas bellísimas y únicas, con un color, una luminosidad y una textura que ninguna tinta jamás conseguirá imitar, sino posibilitando además, una estabilización de la propia tierra como material constructivo, que puede conferirle una optimización de desempeño.

3 SOSTENIBILIDAD

Nuestros antepasados construían sus habitaciones respetando la Naturaleza y las condiciones que esta les imponía, en una relación saludablemente directa. Posteriormente, se ha olvidado que el mundo no era infinito, que los recursos tampoco lo eran. La energía de origen fósil se agotaría a breve plazo, el agua no estaría perpetuamente disponible y la polución habría de causar daños eventualmente irreversibles en nuestro planeta. La industria de la construcción contribuye considerablemente en la deterioración. ¿Podría serlo de otro modo?

¡La Tierra está llena! Y las soluciones para los problemas ambientales serán encontradas, inevitablemente, con el desarrollo tecnológico.

Nuestra civilización consumista, ultrapasó ya los límites aceptables. Como afirma García¹ "... la civilización industrial ha entrado en una fase de translimitación, en la que los límites naturales al crecimiento han sido traspasados. La frontera representada por dichos límites ya no nos espera en el futuro, sino que forma parte de nuestro pasado..." o "...y que, en consecuencia, el colapso es ahora más difícil de evitar. Y sus efectos más difíciles de contrarrestar, porque un nuevo equilibrio exigiría ahora una fase prolongada de decrecimiento, de des-desarrollo."

La irreversibilidad de la degradación es un hecho. La presencia de metales pesados y otros productos químicos nocivos; la salinización, la desertificación o la deforestación vertiginosa, el efecto invernadero, el agravamiento de los agujeros de ozono, las lluvias ácidas, las innumerales catástrofes "naturales" y la pérdida irreparable de la biodiversidad, son señales evidentes del estado a que se ha llegado y dejando entrever lo que nos está esperando.

¹ GARCIA, Ernest: El cambio social más allá de los límites al crecimiento: Un nuevo referente para el realismo en la sociología ecológica, Universidad de València, 2004.

Nosotros que no estamos todavía completamente alienados de la realidad, como hombres y mujeres a quién resta alguna lucidez, y aún más como arquitectos y ingenieros preocupados, tenemos que tomar partido.

Hay que utilizar materiales biocompatibles, no agrediendo los ecosistemas, la flora, la fauna, el propio hombre y el entorno, el aire, el agua y los recursos naturales. Materiales locales, no requiriendo exagerados consumos energéticos en su producción, no dilapidando recursos en el transporte e que sean durables, reciclables y no generadores de residuos tóxicos o polucionantes.

4 LA TIERRA Y LA CAL ¿MATERIALES ALTERNATIVOS?

La Tierra. Hace muchos millares de años que han surgido los primeros poblados y con ellos el material tierra fue escogido para erigir todo tipo de construcciones, en los más diferentes lugares y en casi todas culturas y civilizaciones.

Sus propiedades son variadas. Abundante en la mayoría de las regiones. Costo sin significado. Extracción sencilla y su proximidad al local de la obra va a provocar un precio del transporte inapreciable. Simplicidad de ejecución. Resistente al fuego. Excelente comportamiento térmico y acústico. Capacidad de regulación de los cambios higrométricos. Ecológicamente limpia con posibilidad ilimitada de reciclaje. Ambientalmente apropiada, por ser natural, no contaminante; tener un consumo de energía despreciable y no producir desperdicios.

Claro que no hay solamente ventajas. Lo principal problema es su reducida resistencia a la tracción y al cortante, lo que es susceptible de causar el colapso de la estructura en consecuencia de movimientos sísmicos. La durabilidad queda afectada con el humedecimiento provocado por la lluvia, la erosión y los impactos. Nula resistencia a las inundaciones. Baja aceptabilidad entre los distintos grupos sociales y repudio institucional en la mayoría de los países.

Existen en el mundo variadas técnicas tradicionales de construcción con tierra. El grupo CRATerre², por ejemplo, identificó 12 sistemas fundamentalmente diferentes y decenas de variantes, siendo el tapial el método más utilizado en Portugal.

El tapial es un proceso aparentemente muy sencillo, se coloca la tierra en el interior de un encofrado (tapiales) y allá compactarla en capas de 10 o 15 cm con pisones manuales o neumáticos. La compactación intensa de la tierra humedecida con poca agua y eventualmente con otros materiales de función estabilizadora, por supuesto la cal, el más vulgar, en el interior del encofrado, permitirá asignarle una extrema rigidez y una elevada resistencia a la compresión.

En el Algarve se verifican aún los mejores vestigios de la arquitectura militar en tapia, típicamente árabes, con enfoque en la fortificación de Paderne, del Período Almohada, en el Garb al-Andaluz. En la tapia militar la tierra era mezclada con cal para promover una estabilización que confería a la tapia una extrema dureza y resistencia.

La cal. Obtenida a través de la calcinación de las rocas calizas y conchas marinas, es un material usado hace millares de años. En Mesopotámia o en América por la civilización Maya, por los egipcios, por los griegos o por los romanos; prácticamente todos los pueblos la utilizaran.

Como revoco en diversificados y bellísimos revestimientos en enfoscados, en pinturas de blancura inmaculada, mas igualmente como agente aglutinador de piedras posibilitando una favorable repartición de las cargas actuantes sobre las estructuras y cimentaciones, o aún, como sellador en la confección de hormigones hechos con cal, arena y grava, resistentes en estanques.

Buena adherencia, por un lado, a las arenas y a las gravas y, por otro, a los materiales del soporte. Bajo coeficiente de capilaridad. Muy buena plasticidad y manejabilidad. Elevada permeabilidad al vapor de agua de los revocos y pinturas

² CRATERRE: Traité de Construction en Terre. Marseille, Editions Parenthèses 1989. pg 161.

de cal. Elasticidad. Bactericida. Evita las eflorescencias provocadas por hongos y mohos pues es un anti – hongos. Módulo de elasticidad reducido. Regulador de la humedad, absorbiéndola cuando está en exceso y liberándola cuando el ambiente está seco. Gran durabilidad, con milenios de comprobación. Gastos de energía mucho más pequeños que con el cemento y mucho menos polucionante. Su proceso, con absorción del gas carbónico del aire, que es el gran responsable por el efecto invernadero, como lo sabemos, va a ser ambientalmente muy favorable. Ecológicamente la piedra, el carbonato cálcico, vuelve a ser piedra otra vez, con la capacidad de intervención y de creatividad de los hombres. Inigualable relación con la luz y lo tacto, presentando colores y texturas singulares. Los fabricantes de tintas intentan presentar productos artificiales imitándola. Permite la autenticidad en las rehabilitaciones de los edificios antiguos, la compatibilidad con los soportes existentes y que el cemento con su rigidez y su menor impermeabilidad al vapor, que no al agua, va a estropear.

5 REFUERZO

Como los principales problemas para las construcciones en tierra son, además del agua, las acciones sísmicas, deberán merecer toda nuestra atención. Teniendo en consideración las formulaciones teóricas que hemos apreciado, principalmente basadas en ensayos realizados en mesas sísmicas, podremos estipular algunas características mínimas.

Cimientos estables y sobrecimientos (zócalos) al menos con 70 cm de altura para evitar la ascensión de agua por capilaridad. [Buenas botas]

Cubiertas de techo con pendientes adecuadas y aleros salientes para protección de la lluvia. [Bueno sombrero]

Protección de los muros con enlucidos de cal. [Bueno capote]

Anclaje de viga solera en la parte superior de los muros, para soportar los impulsos derivados de las cubiertas.

La esbeltez de los muros, es decir, la relación entre la altura y el espesor, no convendrá sobrepasarse el valor de 7, simultáneamente el longitud libre de los muros no deberá superar diez veces su espesor.

Estructuras con regularidad y simetría en planta y en elevación de forma, haciendo coincidir el centro de masa con el centro de rigidez y así anular eventuales efectos torsionales.

Conexiones cuidadosamente ejecutadas para conferir ductilidad a la estructura. Los encuentros entre muros son zonas sísmicamente muy vulnerables, por lo que requieren particular atención, pudiendo utilizarse llaves de madera para lo optimizar.

Vanos en número limitado y con dimensiones reducidas, disponiendo de dinteles suficientemente empotrados en la albañilería.

Suficiente distanciamiento entre vanos y esquinas.

Anclaje de los muros al sobrecimiento en la parte inferior y a la viga solera de coronamiento en la parte superior, trabado con la sección superior del muro (diente en esquina).

Ejecución de entrepisos con rigidez para funcionar como diafragmas indeformables de manera que se asegure un amarre de la estructura.

Posibilidad de reforzamiento de los muros con materiales (por ejemplo, madera o bambú) que posibiliten una mayor ductilidad de la estructura, resistiendo a esfuerzos de tracción y de corte y con modulo de deformabilidad compatible con la tierra compactada de lo muro de tapial.

Sobretudo hay que sustituir los criterios tradicionales de diseño basados en la resistencia, por criterios de estabilidad, incrementando la ductilidad en el comportamiento global de la edificación.

Las construcciones ya existentes se podrán reforzar mediante el empleo de mallas electrosoldadas en el interior de estucos de cal o morteros de cal, por ambas caras de los muros o al menos en la cara exterior. No siendo económicamente posible el revestimiento completo, se podrán colocar franjas verticales y horizontales debidamente sujetadas, lo que es particularmente importante en zonas de enorme

pobreza y elevado riesgo sísmico, como las encontramos desdichadamente en América Latina.

6 TRABAJO EXPERIMENTAL Y DE CAMPO

TRABAJOS DE CAMPO

Se apreciaran 4 edificaciones rurales cuya época de construcción remonta al período entre 1850 y 1940, situadas en el Algarve, en la sierra de Monchique (imágenes 1 y 2).



Imagen 1 - Edificación en Monchique



Imagen 2 – Edificación en Monchique

Su construcción es una planta, con altura no superior a 2,50 m y tejado de dos aguas, de teja de arcilla cocida y aleros destacados. La planta es rectangular y sus formas son puras y macizas. El número de compartimentos es variable entre 3 y 6. Los vanos son pocos y de reducida dimensión. Los muros exteriores tienen un espesor medio de 50 cm y los bloques de tapia tienen dimensiones variables, en torno de 0.50 m de altura y 1.50 m de longitud. Los muros interiores de adobe tienen, generalmente, un espesor de 20 cm. Existencia de contrafuertes para contrarrestar los impulsos horizontales del tejado.

Se presenta también el caso de la rehabilitación de una edificación rural en tapial, localizada en Almodóvar (imágenes 3 y 4), donde se ha introducido una es-

estructura de hormigón armado y malla de polímero para reforzamiento, pero manteniendo los viejos muros y su memoria.



Imagen 3 - Vivienda en Almodôvar



Imagen 4 - Vista del refuerzo

Se ha utilizado un programa de cálculo estructural, el SAP 2000 para simulación del comportamiento de la estructura y visualización de los respectivos esfuerzos más gravosos, especialmente bajo la acción sísmica [sismo tipo I, de la reglamentación portuguesa] (imágenes 5, 6 y 7).

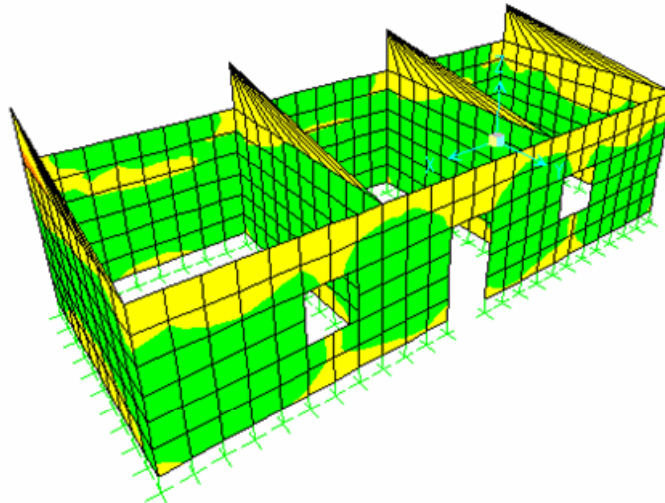


Imagen 5 – Simulación estructural en SAP 2000. Visualización de las tensiones originadas por la acción del sismo tipo I

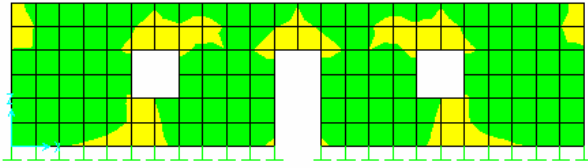


Imagen 6 – Tensiones en muro longitudinal

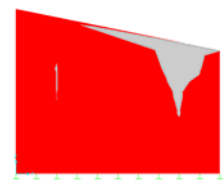


Imagen 7 – Tensiones en muro transversal

TRABAJOS DE LABORATORIO

Se han realizado ensayos en el Departamento de Ingeniería Civil de la Escuela Superior de Tecnología de la Universidad del Algarve, con probetas de tierra de diferentes localizaciones (imágenes 8 y 9).



Imagen 8 – Equipamiento Seidner D – 7940



Imagen 9 – Probetas de ensayo

Se presentan los resultados obtenidos con el suelo de una edificación antigua en Monchique (figuras 10 y 11).

 			
Local: VALE DA JUNÇA		Data: 11-02-2006	
Massa total da amostra:		m (g) = 4397,0	
Massa retida no peneiro de 2,00 mm (n.º 10):		m ₁₀ (g) = 1568,0	
Massa passada no peneiro de 2,00 mm (n.º 10):		m ₂₀ (g) = 2829,0	
FRAÇÃO RETIDA NO PENEIRO DE 2,00 mm (N.º 10)			
PENEIRO	RETIDA (g)	% RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
	max	$N_s = \frac{m_s}{m} \cdot 100$	$\sum N_s$
# 3	76,1		
# 2	50,8		
# 1 1/2	38,1		100,00%
# 1	25,4		100,00%
# 3/4	19,0	0,67%	99,33%
# 2/8	9,51	10,77%	88,56%
# 4	4,76	16,04%	72,52%
# 10	2,00	8,18%	64,34%
<2,00	2829,00		
Total	4397,00		
FRAÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 0,075 mm (N.º 200)			
Massa a reter	N.º 10 = 54,24%		
PENEIRO	RETIDA (g)	% RETIDA	% ACUMULADA QUE PASSA
	max	$N_s = \frac{m_s}{m} \cdot 100$	$\sum N_s$
# 20	0,850	14,20%	50,14%
# 40	0,425	5,10%	45,03%
# 60	0,250	2,84%	42,19%
# 140	0,106	3,46%	38,73%
# 200	0,075	1,20%	37,53%
<0,075	59,26	37,53%	100,00%
Total	105,60		

Figura 10 - Análisis granulométrica

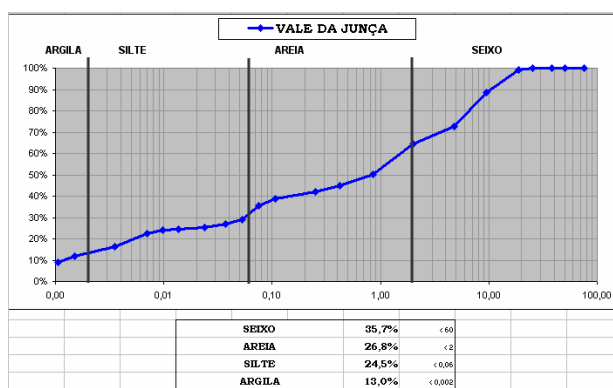


Figura 11 – Gráfico granulométrico

Se hicieran muestras de 7 * 7 * 7, de 4 * 4 * 16 y 2 * 2 * 8 [dimensiones en centímetros] y se ha determinado la resistencia a compresión de las muestras, la resistencia a flexotracción y al corte.

Para cada suelo, se hicieran ensayos con variadas adiciones de cal (con 4 %, 8 % y 12 %), de cemento (con las mismas proporciones de la cal), de paja (con 0.25 % y 0.50 % en peso, equivalente a 12.5 % y 25 % en volumen, y cortada en trozos con 5 cm de longitud), de fibras de sisal (con las mismas proporciones de la paja) y de red de fibra de vidrio (con una y dos capas en las muestras) y también con combinaciones de estas adiciones (figuras 12 y 13).

AMOSTRA		COMPRESSÃO		TRACÇÃO		CORTE	
		F [kg]	TENSÃO [Mpa]	F [kg]	TENSÃO [Mpa]	F [kg]	TENSÃO [Mpa]
1	SOLO	2,43	1,52	0,162	0,38	0,513	0,32
2		2,91	1,82				
3		3,06	1,91				
4		2,67	1,67				
5		2,74	1,71				
6		2,28	1,43				
7	c/ CAL [10 %q]	2,53	1,58	0,171	0,40	0,645	0,40
8		2,98	1,86				
9		4,15	2,59				
10		3,26	2,04				
11		4,03	2,52				
12		3,14	1,96				
13	c/ CIMENTO [1,4%q]	3,55	2,22	0,223	0,52	0,812	0,51
14		3,25	2,03				
15		3,14	1,96				
16		3,64	2,28				
17		3,21	2,01				
18		4,16	2,60				
19	c/ GRELHA	4,68	2,93	0,331	0,78	1,006	0,63
20		5,24	3,28				
21		5,16	3,23				
22		4,76	2,98				
23		5,03	3,14				
24		4,87	3,04				

Figura 12 – Tensões obtidas

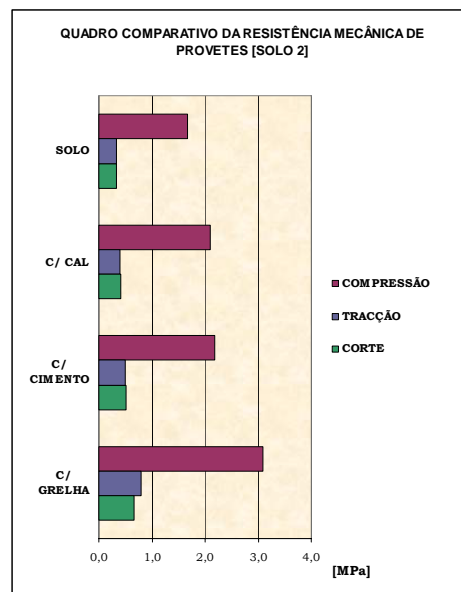


Figura 13 – Cuadro comparativo

También se ha realizado análisis químico general por energías dispersivas, por difracción de rayos X (figura 14) y análisis microestructural por microscopia electrónica de barrido.

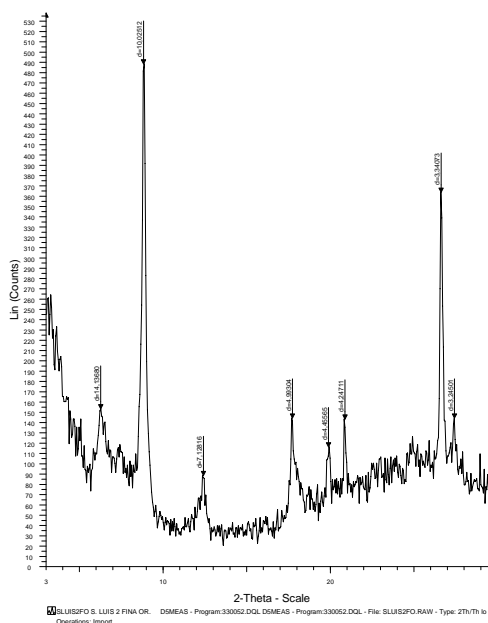


Figura 14 – Diagrama de difracción por rayos X

A pesar de la heterogeneidad de los suelos y otras dificultades como la lentitud del proceso de carbonatación de la cal, se podrá referir el aumento de resistencia proporcionado por la malla polimérica, incluso en el ensayo de compresión simple, también que la estabilización con cal origina una reducción de la retracción, un aumento del límite de plasticidad y una mayor resistencia a compresión.

También se han realizado ensayos “in situ”.

7 CONCLUSIÓN

No podemos olvidar que en zonas sísmicas las construcciones deberán resistir a fuerzas horizontales, torsionales y de volteo inducidas por el sismo y que van a desarrollar esfuerzos de tracción y de corte muy significativos en las estructuras. La consecuente ocurrencia de fallas frágiles puede provocar el colapso súbito de las edificaciones, con pérdida de vidas, además de daños materiales sustanciales.

Se ha de hacer segura y resistente estructuralmente la edificación, con un diseño funcional y respuestas bioclimáticas que permitan una armonía con la naturaleza y una sostenibilidad medioambiental.

Las conclusiones preliminares de la investigación que estamos empezando, nos permiten quitar algunos temores y mitos sobre la inferioridad de estos materiales, asegurando sus potencialidades, más todavía mucho habrá que continuar investigando. Con persistencia y rigor es necesario continuar estudiando sus propiedades, intentando mejorarlas cada vez más, buscando perfeccionar las materias primas y las condiciones de utilización para dar respuesta a la normativa actual.

8 BIBLIOGRAFÍA

- DOAT, P., HAYS, A., HOUBEN, H e grupo CRATerre. **Construire en terre**. Editions Alternatives, Paris, 1979.
- HOUBEN, Hugo e GUILLOUND, Hubert. **Traité de Construction en Terre**. Editions Parenthèses, Marseille, 1989.
- SEGARRA, Mariano Olcese. **Arquitecturas de Tierra : Tapial y Adobe**. Colegio Oficial de Arquitectos en Valladolid, 1993.
- FUNDAÇÃO CALOUSTE GULBENKIAN, Centro de Arte Moderna. **Arquitecturas de Terra**. Lisboa, 1993.
- STEELE, James. **Hassan Fathy**. Academy Editions, Londres, 1988.
- VITRUVIO, Marco Polio. **Los diez libros de arquitectura**. Editorial Ibérica S.A., Barcelona, 1955.
- BRUNO, Zevi. **Saber Ver a Arquitectura**. Editora Martins Fontes, São Paulo, 1978.
- MULLER, G. In: BECHER, D.F. (Org). **Desenvolvimento sustentável: necessidade e/ou possibilidade?** 3.ed. Santa Cruz do Sul: Edunisc, p.238, 2001.
- SACHS, I. Entrevista en Science, Nature, Societé, Vol. 2, n. 3, 1994.
- MEADOWS, D. H. Y D.L. **Beyond the Limits**, 1991 [Traducido en castellano de El País & Aguilar, Madrid, 1992].
- BRUNDTLAND, G.H. **Our common Future**. Oxford, Oxford University Press, 1987. [Traducido en castellano, Nuestro futuro común, Madrid, Alianza Ed., 1988]
- NAREDO, J. M. **Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible**. <http://habitat.aq.upm.es/cs/p2/a004.html>, 1997.
- EHRlich, P.R. **The limits to substitution**: Meta resource depletion and new economic-ecological paradigm. Ecological Economics, vol. 1, n. 1 p.10, 1989.
- [1.]NORTON, B.B. **Sustainability, Human Welfare and Ecosystem Health**. Ecological Economics, vol. 14, n. 2, pp. 113-127, 1992.

[2.]GARCIA, E. **El cambio social más allá de los límites al crecimiento: un nuevo referente para el realismo en la sociología ecológica.** Universitat de Valencia, 2005.